PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-275868
(43)Date of publication of application : 30.09.1994

(51)Int.Cl.	H01L 33/00 H01S 3/18

(21)Application number : 05-085492
(22)Date of filing : 19.03.1993

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD
(72)Inventor : YAMADA MOTOKAZU
SENOO MASAYUKI
NAKAMURA SHUJI

(54) FORMATION OF ELECTRODE OF GALLIUM NITRIDE-BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR

(57)Abstract:
PURPOSE: To provide the formation method, of an electrode, wherein the n-type layer and the p-type layer of a p-n junction-type gallium nitride-based compound semiconductor as well as an ohmic contact are obtained in order to enhance the light-emitting output and the light-emitting efficiency of a light-emitting element which utilizes the gallium nitride-bas d compound semiconductor.
CONSTITUTION: An alloy which contains chromium and/or nickel or the metals are applied to an n-type gallium nitride-bas d compound semiconductor at an electron carrier concentration of 1 × 1017/cm3 or higher or to a p-type gallium nitride-based compound semiconductor at an electron carrier concentration of 1 × 1015/cm3 or higher, and an annealing operation is then performed.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]	12.04.1996
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	
[Date of final disposal for application]	
[Patent number]	2803741
[Date of registration]	17.07.1998
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of extinction of right]	

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The electrode formation method of the gallium-nitride system compound semiconductor characterized by carrying out annealing after adhering the alloy which contains chromium and/or nickel in n type gallium-nitride system compound semiconductor of 1x1017/of three or more electronic carrier concentration cm, or p type gallium-nitride system compound s miconductor of 1x1015/of three or more electron hole carrier concentration cm, or this metal.

[Claim 2] The aforementioned annealing temperature is the electrode formation method of the gallium-nitride system compound semiconductor according to claim 1 characterized by being 400 degrees C or more.

[Translation done.]

DETAILED DESCRIPTION

[D tailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] this invention relates to the electrode formation method of a gallium-nitride system compound s miconductor expressed with general formula InXAlYGa1-X-YN (0<=X<1, 0<=Y<1), and relates to the formation method of an l ctrode that n type gallium-nitride system compound semiconductor and p type gallium-nitride system compound semiconductor, and ohmic contact are obtained especially.

[0002]

[Description of the Prior Art] Since, as for [InXAlYGa1-X-YN (0<=X<1, 0<=Y<1)], it has a direct transition and a band gap changes to 1.95eV - 6eV, as for gallium-nitride system compound semiconductors, such as GaN, GaAlN, InGaN, and InAlGaN, promising ** of light emitting diode, the laser diode, etc. is carried out as a material of a light emitting device. When this material dopes n type dopants, such as a state of a non dope, or Si, germanium, it is known that n type property is shown. On the other hand, about p type property, the technology which uses as p type the gallium-nitride system compound semiconductor which recently doped p type dopant is developed, and p type gallium-nitride system compound s miconductor can be realized now. (For example, JP,2-257679,A, JP,3-218325,A)

[0003] If p type gallium-nitride system compound semiconductor becomes realizable as described above, a p-n junction typ light emitting device with a high radiant power output will be called for. When it considers as a p-n junction type light emitting device, it is indispensable that the electrode formed in n type gallium-nitride system compound semiconductor and p typ gallium-nitride system compound semiconductor is carrying out ohmic contact with those gallium-nitride system compound semiconductors. However, the actual condition is that the electrode material which the physical properties of a gallium-nitride system compound semiconductor are not often yet solved, but ohmic contact can obtain is not yet known.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Therefore, this invention is accomplished in view of such a situation, and the place made into the purpose is to offer the formation method of an electrode that n type layer of a gallium-nitride system compound semiconductor and p type layer, and ohmic contact are obtained, in order to raise the radiant power output of the light emitting device using the p-n junction type gallium-nitride system compound semiconductor, and luminous effici ncy.

[0005]

[M ans for Solving the Problem] After the electrode formation method of this invention adheres the alloy which contains chromium and/or nickel in n type gallium-nitride system compound semiconductor of 1x1017/of three or more electronic carrier concentration cm, or p type gallium-nitride system compound semiconductor of 1x1015/of three or more electron hole carrier concentration cm, or this metal, it is characterized by carrying out annealing.

[0006] In the electrode formation method of this invention, the electronic carrier concentration of n type gallium-nitride system compound semiconductor in which especially an important thing forms an electrode is needing three or more 1x1017-/cm. If there is less the concentration than 1x1017-/cm3, n type layer and good ohmic contact will not be obtained. Moreover, similarly the electron hole carrier concentration of p type gallium-nitride system compound s miconductor which forms an electrode is needed three or more 1x1015-/cm. If fewer than 1x1015-/cm3, same p type lay r and the same good ohmic contact will not be obtained.

[0007] Next, it is necessary to use the electrode material adhering to n type gallium-nitride system compound semiconductor and p type gallium-nitride system compound semiconductor as the alloy containing chromium and/or nick l, or its metal. as a concrete metal -- Cr and each nickel -- a kind of metal chosen from Au, Pt, Mo, Ti, In, and Ga as ind pend nce and an alloy, an alloy with Cr, an alloy with nickel, or a Cr-nickel alloy can be used at least, and Cr, nickel independence or a Cr-nickel alloy, a Cr-Au alloy, and a nickel-Au alloy are especially desirable Although not limited, it is so desirable that especially the content of Cr of an alloy and nickel has much Cr and nickel.

[0008] In order to make the above-mentioned electrode material adhere to a gallium-nitride system compound s miconductor, a vacuum deposition can be used preferably and the metal and metal simple substance which were alloyed b for hand can be made to adhere as a vacuum evaporationo material.

[0009] Ohmic contact of the above-mentioned electrode material can be carried out by performing annealing in order to familiarize an electrode material and a gallium-nitride system compound semiconductor, and carrying out at the temperatur of 400 degrees C or more preferably. Moreover, by carrying out in nitrogen atmosphere preferably, annealing can prevent the nitrogen in a gallium-nitride system compound semiconductor decomposing and going away, and can maintain crystallinity. Although especially the upper limit of annealing temperature is not limited, it is desirable to usually carry out below 1100 degrees C. It is because it is in the inclination which a gallium-nitride system compound s miconductor tends to decompose as mentioned above when it exceeds 1100 degrees C. Moreover, by performing annealing above 400 d grees C, the resistivity of p type gallium-nitride system compound semiconductor falls, and p type gallium-nitrid system compound semiconductor can obtain more desirable p type, after adh ring an electrode material by width of face of 20 micrometers or less.

[0010]

[Function] After drawing 1 adheres and carri s out annealing of the electrode which becomes the Si dope n type GaN layer

from which electronic carrier conc ntration diff rs, resp ctively from a Cr-nickel alloy for 15 minutes at 500 degre s C, it is drawing comparing and showing the result which measured th each Cr-nick l int r-electrode curr nt-potential property, and investigated the ohmic contact to an n typ GaN layer and an electrod . A is an n typ GaN layer in which 1x1018/cm3 and C have cm3, and, as for 2x1019/cm3 and B, 1x1017/D has th lectronic carri r concentration of 6x1016-/cm3. By th n type GaN layer with high lectronic carri r concentration, although ohmic contact is obtained easily and ohmic contact is still obtained in 1x1017-/cm3, in 6x1016-/cm3, completely, voltage and current are not in a straight-line relation, and it turns out that ohmic contact has not be n carried out, so that it may und rstand, ven if it compar s A-D.

[0011] Moreover, aft r drawing 2 adheres and similarly carries out ann aling of th l ctrode which b comes the Mg dope p typ GaN lay r from which electron hol carrier concentration differs, r sp ctively from a Cr-nickel alloy for 15 minutes at 500 d grees C, it is drawing comparing and showing the result which measured the ach Cr-nickel inter- l ctrode current-pot ntial property, and investigated the ohmic contact to a p type GaN layer and an electrode. E is a p type GaN layer in which 1x1016/cm3 and G have cm3, and, as for 1x1017/cm3 and F, 1x1015/H has the electron hole carrier concentration of 5x1014-/cm3. If this drawing has the threshold value of ohmic contact in the 1x1015/cm3 of electron hole carrier conc ntration neighborhood similarly and is less than it, it is shown that it is difficult to obtain ohmic contact.

[0012] Furthermore, when annealing of the temperature is changed and carried out for 15 minutes after drawing 3 adhered the nickel-Cr alloy to the Mg dope p type GaN layer of 4x1016/of electron hole carrier concentration cm 3, it is drawing in which comparing the relation of the current-potential property of the p type GaN layer by the annealing temperature, and an l ctrode, respectively, and showing it. 200 degrees C and K show 300 degrees C, and, as for I, before annealing and J show the annealing temperature of 400 degrees C, as for L. Although I-L is drawing showing ohmic contact in annealing temperature and a p type GaN layer, it turns out that the contact resistance of a p type GaN layer and an electrode decreas s with annealing temperature, and an inclination becomes large, and current value increases in proportion to voltage, and ohmic contact is obtained. Therefore, desirable annealing temperature is 400 degrees C or more.

[0013]

[Example] The buffer layer which consists of GaN on silicon on sapphire grows up the GaN layer of a non dope by 2-micromet r thickness on it with about 200A using the [example 1] MOCVD method, and the 0.2-micrometer Ga0.9aluminum0.1N layer which doped Mg on the GaN layer is grown up. A substrate is put into annealing equipment after Mg dope Ga0.9aluminum0.1 N layer growth, and annealing is carried out for 10 minutes at 700 degrees C among nitrogen atmosphere, and Mg dope Ga0.9aluminum0.1N layer is further formed into low resistance, and it considers as p type. This Mg dope p mold Ga0.9aluminum0.1N layer electron hole carrier concentration was 1x1017-/cm3 as a result of hole measurement.

[0014] Next, after depositing a nickel-Au alloy on the aforementioned p type Ga0.9aluminum0.1 N layer front face, similarly a substrate is put into annealing equipment and annealing is performed for 10 minutes at 500 degrees C among nitrogen atmosph re. When the inter-electrode current-potential property was measured after the annealing end and the ohmic contact to p mold Ga0.9aluminum0.1N layer and an electrode was investigated, it was checked that drawing 2 and the same straight line as E are obtained, and ohmic contact is obtained.

[0015] In the [example 2] example 1, when the electrode material which carries out vacuum evaporationo to p mold Ga0.9aluminum0.1N layer was used as the Cr-Au alloy, and also the electrode was formed similarly and the current-pot ntial property was measured, similarly, drawing 2 and the same straight line as E were obtained, and ohmic contact was ch ck d.

[0016] On the non dope GaN layer of the [example 3] example 1, after growing up the 0.2-micrometer n mold In0.1Ga0.9N lay r which doped Si, on it, the vacuum evaporationo of the alloy of nickel is carried out, and an electrode is adhered. In addition, this Si dope In0.1Ga0.9N layer electronic carrier concentration was 2x1019-/cm3. After carrying out annealing like an example 1, when the inter-electrode current-potential property was measured and the ohmic contact to Si dope n mold In0.1Ga0.9N layer and an electrode was investigated, drawing 1 and the same straight line as A were obtained, and ohmic contact was checked by the back.

[0017] In the [example 4] example 3, the amount of Si dopes in Si dope n type In0.1Ga0.9 N layers was changed, the electronic carrier concentration was set to 1x1018-/cm3, and also nickel electrode was formed similarly, when the current-potential property was measured, drawing 1 and the same straight line as B were obtained, and ohmic contact was checked.

[0018]

[Eff ct of the Invention] In case according to the method of this invention the laminating of the gallium-nitride system compound semiconductor is carried out and light emitting devices, such as light emitting diode of p-n junction and laser diode, are created since the ohmic contact to n type and a p type gallium-nitride system compound semiconductor, and an l ctrode is obtained as explained above, the forward voltage of the light emitting device can be lowered, luminous ffici ncy can be raised, and the utility value on industry is great.

[Translation done.]

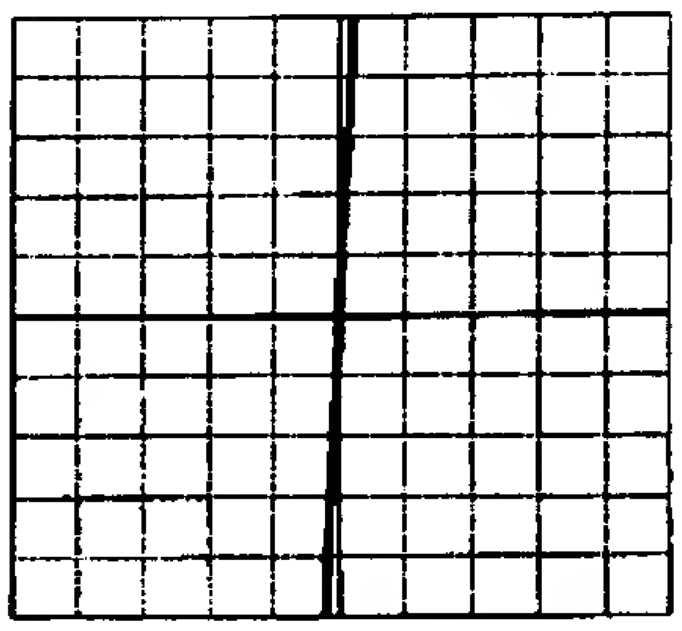
DESCRIPTION OF DRAWINGS

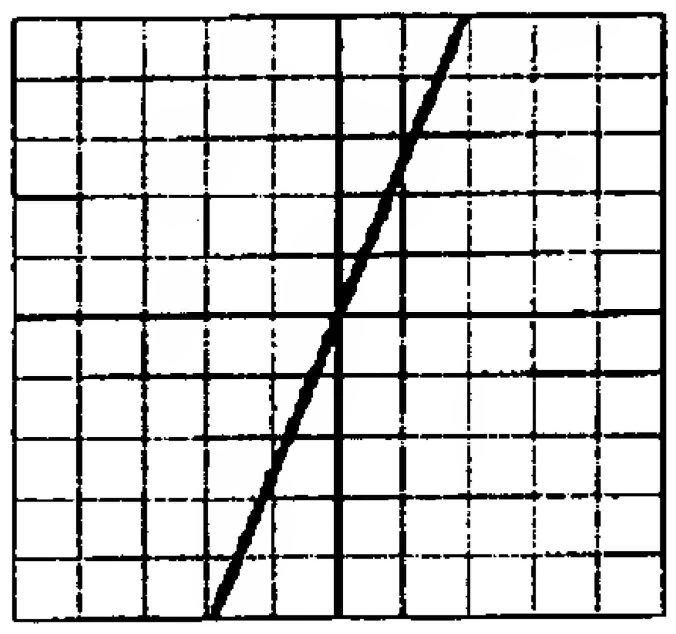
[Brief Description of the Drawings]
[Drawing 1] Drawing comparing and showing the relation of the current-potential property of the n type GaN layer and electrode from which electronic carrier concentration differs.
[Drawing 2] Drawing comparing and showing the relation of the current-potential property of the Mg dope p type GaN layer and lectrode from which electron hole carrier concentration differs.
[Drawing 3] Drawing comparing and showing the relation of the current-potential property of the p type GaN layer and el ctrode by annealing temperature.

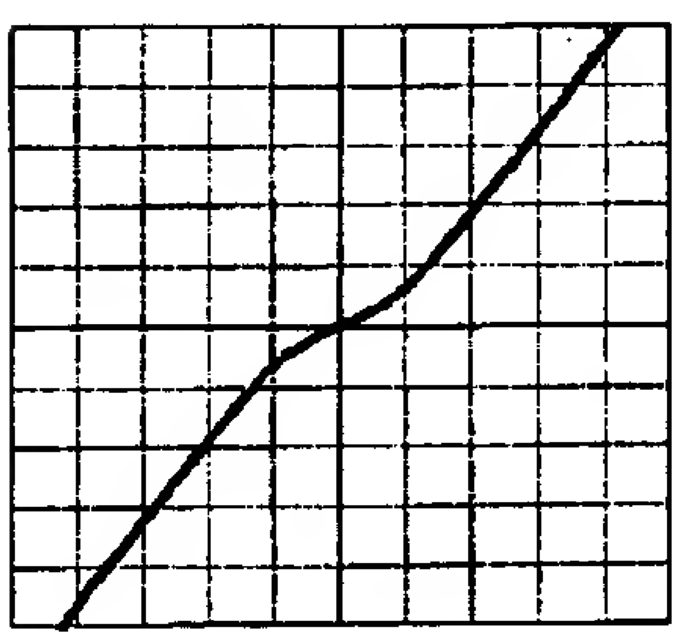
[Translation done.]

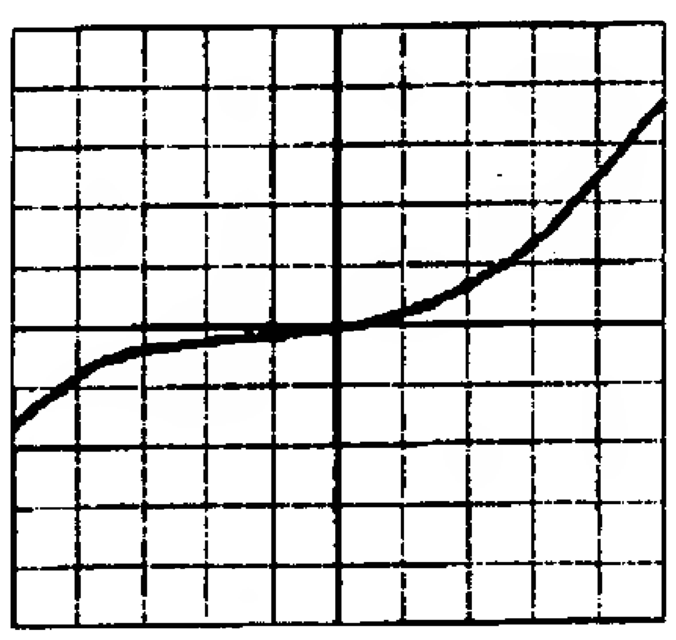
DRAWINGS

[Drawing 1]
X： 0．5 V／div
Y： 0．2mA／div

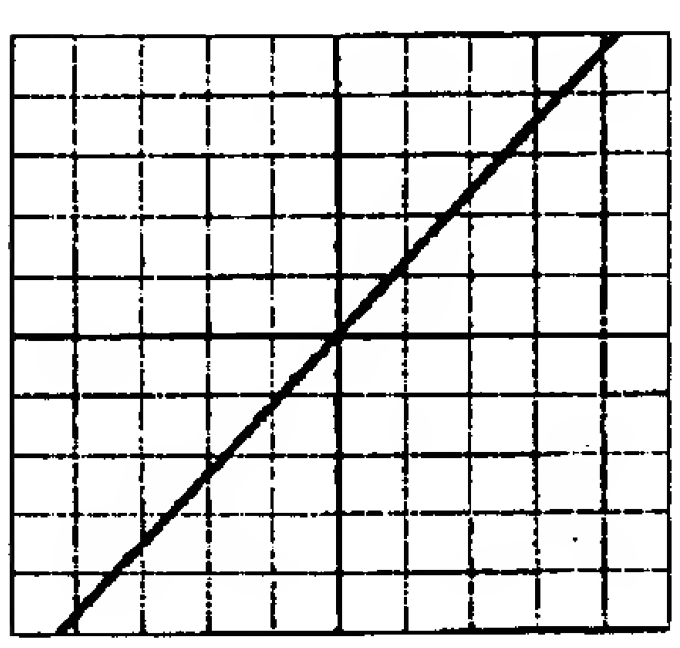

A

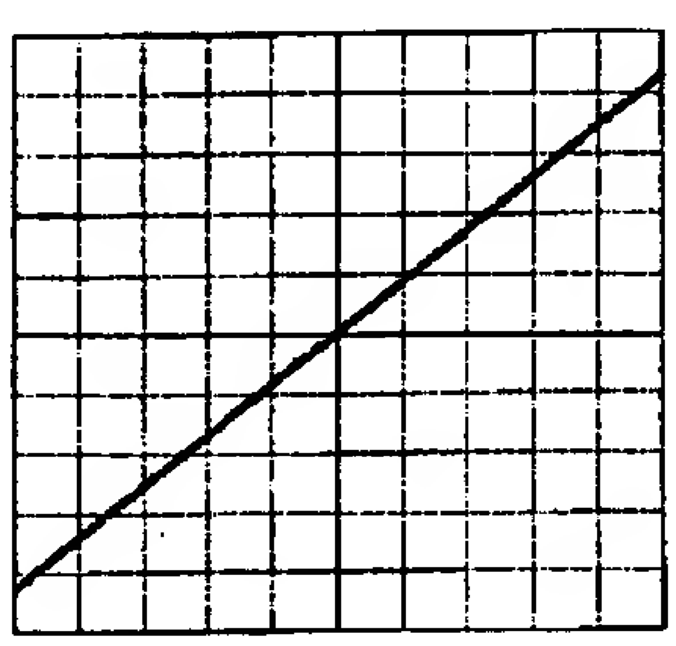

B

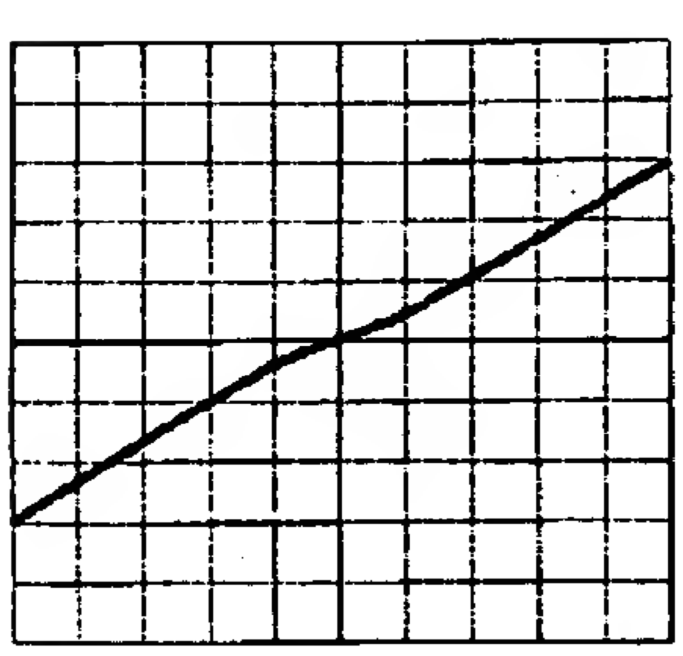

C

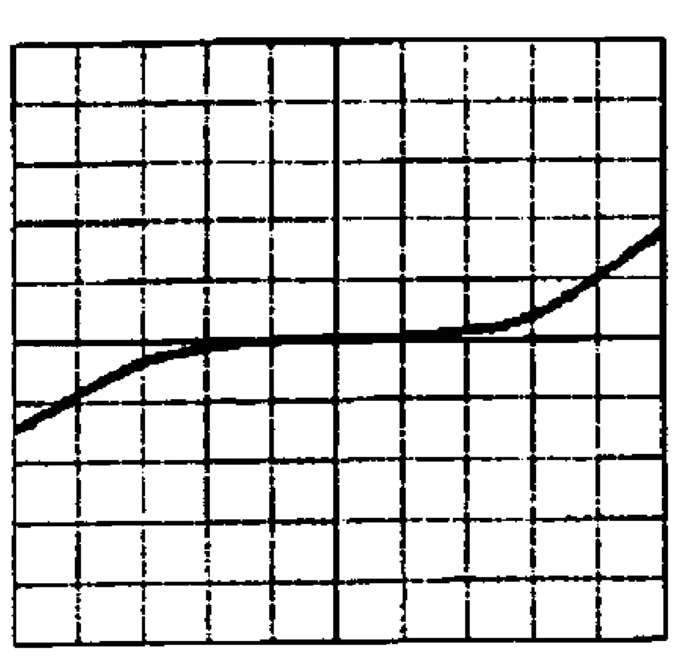

D

[Drawing 2]
X： 0．5 V／div
Y： 0．2mA／div


E


F

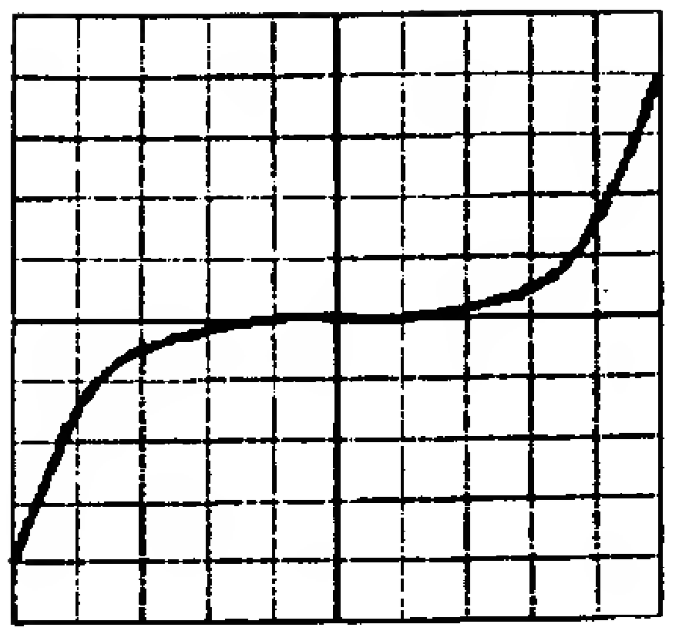

G


H

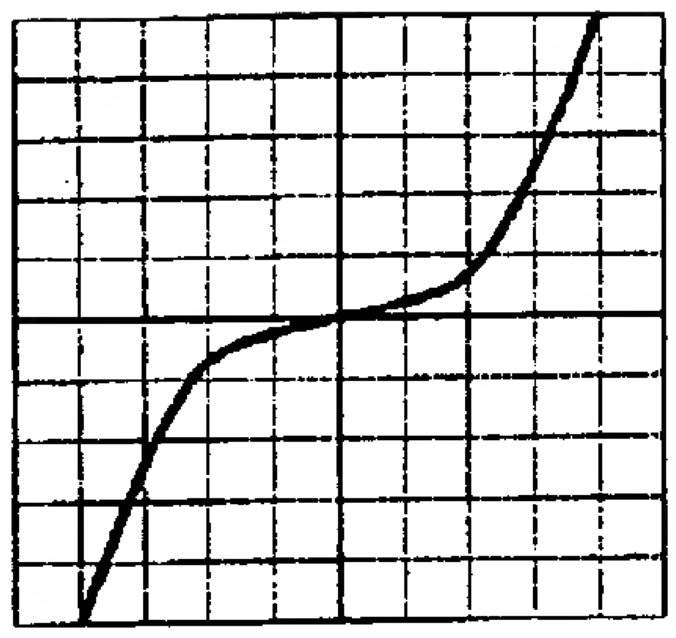
[Drawing 3]

X： 2．0 V／div

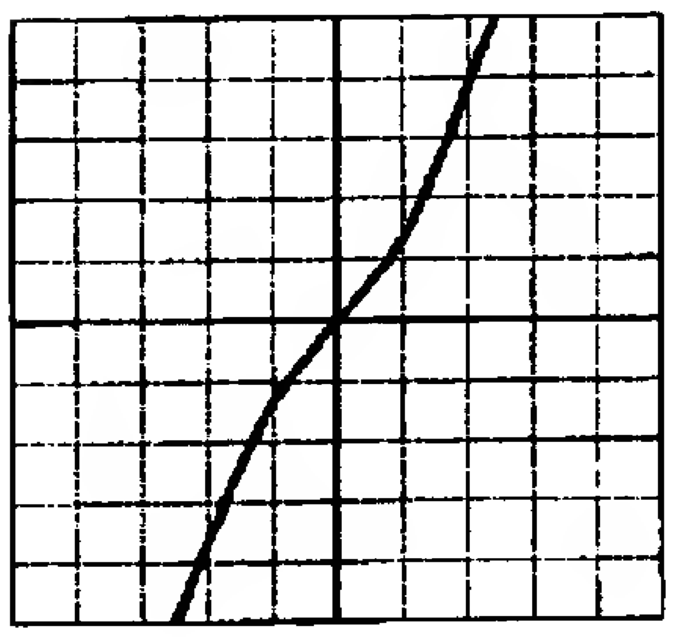
Y： 0．02mA／div



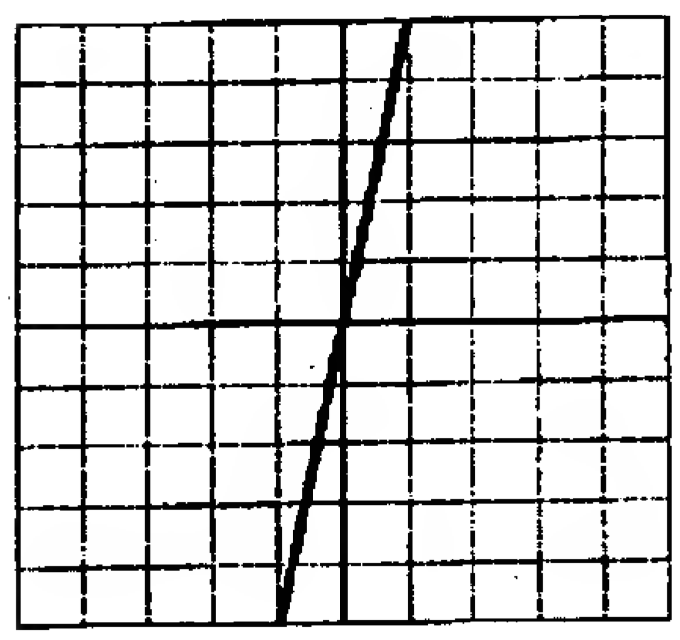
I



J



K



L

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁（JP）

(12) 公開特許公報（Ａ）

(11) 特許出願公開番号

特開平６－２７５８６８

(43) 公開日　平成6年(1994)9月30日

(51) Int. Cl.⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H01L　33/00	C	7376－4M		
	E	7376－4M		
H01S　3/18				

審査請求　未請求　請求項の数２　ＦＤ　（全４頁）

(21) 出願番号　特願平5-85492

(22) 出願日　平成5年(1993)3月19日

(71) 出願人　000226057
日亜化学工業株式会社
徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者　山田　元量
徳島県阿南市上中町岡491番地100　日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者　妹尾　雅之
徳島県阿南市上中町岡491番地100　日亜化学工業株式会社内

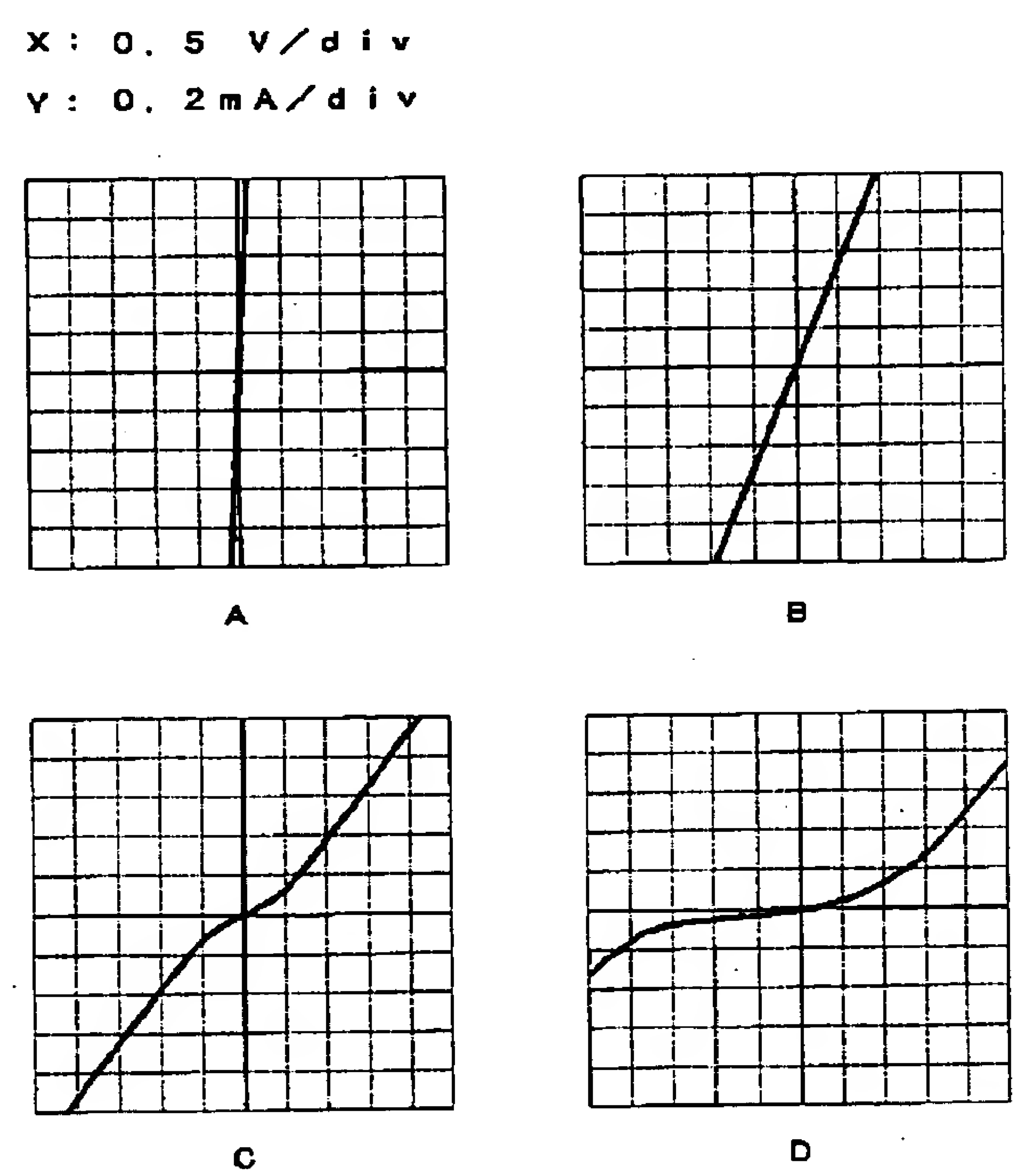
(72) 発明者　中村　修二
徳島県阿南市上中町岡491番地100　日亜化学工業株式会社内

(54)【発明の名称】窒化ガリウム系化合物半導体の電極形成方法

(57)【要約】

【目的】　ｐ－ｎ接合型の窒化ガリウム系化合物半導体を利用した発光素子の発光出力、発光効率を向上させるための窒化ガリウム系化合物半導体のｎ型層、およびｐ型層とオーミック接触が得られる電極の形成方法を提供する。

【構成】　電子キャリア濃度１×１０¹⁷／cm³以上のｎ型窒化ガリウム系化合物半導体、または電子キャリア濃度１×１０¹⁶／cm³以上のｐ型窒化ガリウム系化合物半導体に、クロムおよび／またはニッケルを含む合金、または該金属を付着した後、アニーリングする。



【特許請求の範囲】

【請求項１】　電子キャリア濃度１×１０^{17}／cm^{3}以上のｎ型窒化ガリウム系化合物半導体、または正孔キャリア濃度１×１０^{15}／cm^{3}以上のｐ型窒化ガリウム系化合物半導体に、クロムおよび／またはニッケルを含む合金、または該金属を付着した後、アニーリングすることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の電極形成方法。

【請求項２】　前記アニーリング温度は４００℃以上であることを特徴とする請求項１に記載の窒化ガリウム系化合物半導体の電極形成方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【産業上の利用分野】本発明は一般式$In_XAl_YGa_{1-X-Y}N$（$0 \leqq X < 1$、$0 \leqq Y < 1$）で表される窒化ガリウム系化合物半導体の電極形成方法に係り、特にｎ型窒化ガリウム系化合物半導体、およびｐ型窒化ガリウム系化合物半導体とオーミック接触が得られる電極の形成方法に関する。

【０００２】

【従来の技術】ＧａＮ、ＧａＡｌＮ、ＩｎＧａＮ、ＩｎＡｌＧａＮ等の窒化ガリウム系化合物半導体は｛$In_XAl_YGa_{1-X-Y}N$（$0 \leqq X < 1$、$0 \leqq Y < 1$）｝は直接遷移を有し、バンドギャップが１．９５ｅＶ～６ｅＶまで変化するため、発光ダイオード、レーザダイオード等、発光素子の材料として有望視されている。この材料はノンドープの状態、またはＳｉ、Ｇｅ等のｎ型ドーパントをドープすることによりｎ型特性を示すことが知られている。一方、ｐ型特性に関しては、最近になってｐ型ドーパントをドープした窒化ガリウム系化合物半導体をｐ型とする技術が開発されｐ型窒化ガリウム系化合物半導体が実現できるようになってきた。（例えば、特開平２－２５７６７９号公報、特開平３－２１８３２５号公報）

【０００３】前記したようにｐ型窒化ガリウム系化合物半導体が実現可能となると、発光出力の高いｐ－ｎ接合型の発光素子が求められる。ｐ－ｎ接合型の発光素子とした場合、ｎ型窒化ガリウム系化合物半導体、およびｐ型窒化ガリウム系化合物半導体に形成される電極が、それらの窒化ガリウム系化合物半導体とオーミック接触していることが必要不可欠である。しかしながら、窒化ガリウム系化合物半導体の物性は、未だよく解明されておらず、オーミック接触が得ることのできる電極材料は未だ知られていないのが実状である。

【０００４】

【発明が解決しようとする課題】そのため、本発明はこのような事情を鑑み成されたものであり、その目的とするところは、ｐ－ｎ接合型の窒化ガリウム系化合物半導体を利用した発光素子の発光出力、発光効率を向上させるため、窒化ガリウム系化合物半導体のｎ型層、およびｐ型層とオーミック接触が得られる電極の形成方法を提供することにある。

【０００５】

【課題を解決するための手段】本発明の電極形成方法は、電子キャリア濃度１×１０^{17}／cm^{3}以上のｎ型窒化ガリウム系化合物半導体、または正孔キャリア濃度１×１０^{15}／cm^{3}以上のｐ型窒化ガリウム系化合物半導体に、クロムおよび／またはニッケルを含む合金、または該金属を付着した後、アニーリングすることを特徴とする。

【０００６】本発明の電極形成方法において、特に重要なことは、電極を形成するｎ型窒化ガリウム系化合物半導体の電子キャリア濃度は１×１０^{17}／cm^{3}以上必要とすることである。その濃度が１×１０^{17}／cm^{3}より少ないと、ｎ型層と良好なオーミック接触が得られない。また同じく、電極を形成するｐ型窒化ガリウム系化合物半導体の正孔キャリア濃度は１×１０^{15}／cm^{3}以上必要とする。１×１０^{15}／cm^{3}よりも少ないと同じくｐ型層と良好なオーミック接触が得られない。

【０００７】次に、ｎ型窒化ガリウム系化合物半導体、およびｐ型窒化ガリウム系化合物半導体に付着する電極材料は、クロムおよび／またはニッケルを含む合金、またはその金属にする必要がある。具体的な金属としてはＣｒ、Ｎｉそれぞれ単独、合金としてはＡｕ、Ｐｔ、Ｍｏ、Ｔｉ、Ｉｎ、Ｇａより選択された少なくとも一種の金属と、Ｃｒとの合金、またはＮｉとの合金、あるいはＣｒ－Ｎｉ合金を使用することができ、特にＣｒ、Ｎｉ単独、またはＣｒ－Ｎｉ合金、Ｃｒ－Ａｕ合金、Ｎｉ－Ａｕ合金が好ましい。合金のＣｒ、Ｎｉの含有率は特に限定しないが、Ｃｒ、Ｎｉが多いほど好ましい。

【０００８】上記電極材料を窒化ガリウム系化合物半導体に付着させるには、蒸着法を好ましく用いることができ、予め合金化しておいた金属、金属単体を蒸着材料として付着させることができる。

【０００９】アニーリングは電極材料と窒化ガリウム系化合物半導体とをなじませるために行い、好ましく４００℃以上の温度で行うことにより、上記電極材料をオーミック接触させることができる。またアニーリングは好ましく窒素雰囲気中で行うことにより、窒化ガリウム系化合物半導体中の窒素が分解して出て行くのを防ぐことができ、結晶性を保つことができる。アニーリング温度の上限は特に限定しないが、通常１１００℃以下で行うことが好ましい。１１００℃を超えると前記のように窒化ガリウム系化合物半導体が分解しやすい傾向にあるからである。また、ｐ型窒化ガリウム系化合物半導体は、幅２０μm以下で電極材料を付着した後、４００℃以上でアニーリングを行うことにより、ｐ型窒化ガリウム系化合物半導体の抵抗率が下がり、より好ましいｐ型を得ることができる。

【００１０】

【作用】図１は、それぞれ電子キャリア濃度の異なるＳｉドープｎ型ＧａＮ層にＣｒ－Ｎｉ合金よりなる電極を付着して、５００℃で１５分間アニーリングした後、それぞれのＣｒ－Ｎｉ電極間の電流電圧特性を測定して、ｎ型ＧａＮ層と電極とのオーミック接触を調べた結果を比較して示す図である。Ａは2×10^{19}/cm^3、Ｂは1×10^{18}/cm^3、Ｃは1×10^{17}/cm^3、Ｄは6×10^{16}/cm^{3}の電子キャリア濃度を有するｎ型ＧａＮ層である。Ａ～Ｄを比較してもわかるように、電子キャリア濃度が高いｎ型ＧａＮ層では容易にオーミック接触が得られ、1×10^{17}/cm^{3}ではまだオーミック接触が得られているが、6×10^{16}/cm^{3}では完全に電圧と電流とが直線関係になく、オーミック接触していないことがわかる。

【００１１】また、図２は、それぞれ正孔キャリア濃度の異なるＭｇドープｐ型ＧａＮ層にＣｒ－Ｎｉ合金よりなる電極を付着して、同じく５００℃で１５分間アニーリングした後、それぞれのＣｒ－Ｎｉ電極間の電流電圧特性を測定して、ｐ型ＧａＮ層と電極とのオーミック接触を調べた結果を比較して示す図である。Ｅは1×10^{17}/cm^3、Ｆは1×10^{16}/cm^3、Ｇは1×10^{16}/cm^3、Ｈは5×10^{14}/cm^{3}の正孔キャリア濃度を有するｐ型ＧａＮ層である。この図も同様に正孔キャリア濃度1×10^{15}/cm^{3}付近にオーミック接触の限界値があり、それを下回るとオーミック接触を得ることが困難であることを示している。

【００１２】さらに図３は、正孔キャリア濃度4×10^{16}/cm^{3}のＭｇドープｐ型ＧａＮ層にＮｉ－Ｃｒ合金を付着した後、温度を変えて１５分間アニーリングした場合に、そのアニーリング温度によるｐ型ＧａＮ層と、電極との電流電圧特性の関係をそれぞれ比較して示す図である。Ｉはアニーリング前、Ｊは２００℃、Ｋは３００℃、Ｌは４００℃のアニーリング温度を示している。Ｉ～Ｌはアニーリング温度とｐ型ＧａＮ層とのオーミック接触を示す図であるが、アニーリング温度によりｐ型ＧａＮ層と電極との接触抵抗が減少し傾きが大きくなり、また電圧に比例して電流値が増加しオーミック接触が得られていることがわかる。従って、好ましいアニーリング温度は４００℃以上である。

【００１３】

【実施例】［実施例１］ＭＯＣＶＤ法を用い、サファイア基板の上にＧａＮよりなるバッファ層を約２００オングストロームと、その上にノンドープのＧａＮ層を２μｍの膜厚で成長させ、そのＧａＮ層の上にＭｇをドープしたＧａ0.9Ａl0.1Ｎ層を０．２μｍ成長させる。ＭｇドープＧａ0.9Ａl0.1Ｎ層成長後、基板をアニーリング装置に入れ、窒素雰囲気中７００℃で１０分間アニーリングし、ＭｇドープＧａ0.9Ａl0.1Ｎ層をさらに低抵抗

化してｐ型とする。ホール測定の結果、このＭｇドープｐ型Ｇａ0.9Ａl0.1Ｎ層の正孔キャリア濃度は1×10^{17}/cm^{3}であった。

【００１４】次に前記ｐ型Ｇａ0.9Ａl0.1Ｎ層表面にＮｉ－Ａｕ合金を蒸着した後、基板を同じくアニーリング装置に入れ、窒素雰囲気中、５００℃で１０分間アニーリングを行う。アニーリング終了後、電極間の電流電圧特性を測定して、ｐ型Ｇａ0.9Ａl0.1Ｎ層と電極とのオーミック接触を調べると、図２、Ｅと同一の直線が得られ、オーミック接触が得られていることが確認された。

【００１５】［実施例２］実施例１において、ｐ型Ｇａ0.9Ａl0.1Ｎ層に蒸着する電極材料をＣｒ－Ａｕ合金とする他は同様にして電極を形成し、電流電圧特性を測定したところ、同じく、図２、Ｅと同一の直線が得られ、オーミック接触が確認された。

【００１６】［実施例３］実施例１のノンドープＧａＮ層の上に、ＳｉをドープしたＮ型Ｉｎ0.1Ｇａ0.9Ｎ層を０．２μｍ成長させた後、その上にＮｉの合金を蒸着して電極を付着する。なおこのＳｉドープＩｎ0.1Ｇａ0.9Ｎ層の電子キャリア濃度は2×10^{19}/cm^{3}であった。後は実施例１と同様にアニーリングした後、電極間の電流電圧特性を測定して、Ｓｉドープｎ型Ｉｎ0.1Ｇａ0.9Ｎ層と電極とのオーミック接触を調べたところ、図１、Ａと同一の直線が得られ、オーミック接触が確認された。

【００１７】［実施例４］実施例３において、Ｓｉドープｎ型Ｉｎ0.1Ｇａ0.9Ｎ層中のＳｉドープ量を変え、その電子キャリア濃度を1×10^{18}/cm^{3}とする他は同様にしてＮｉ電極を形成し、電流電圧特性を測定したところ図１、Ｂと同一の直線が得られ、オーミック接触が確認された。

【００１８】

【発明の効果】以上説明したように本発明の方法によると、ｎ型及びｐ型の窒化ガリウム系化合物半導体と電極とのオーミック接触が得られるため、窒化ガリウム系化合物半導体を積層してｐ－ｎ接合の発光ダイオード、レーザーダイオード等の発光素子を作成する際、その発光素子の順方向電圧を下げ、発光効率を向上させることができ、産業上の利用価値は多大である。

【図面の簡単な説明】

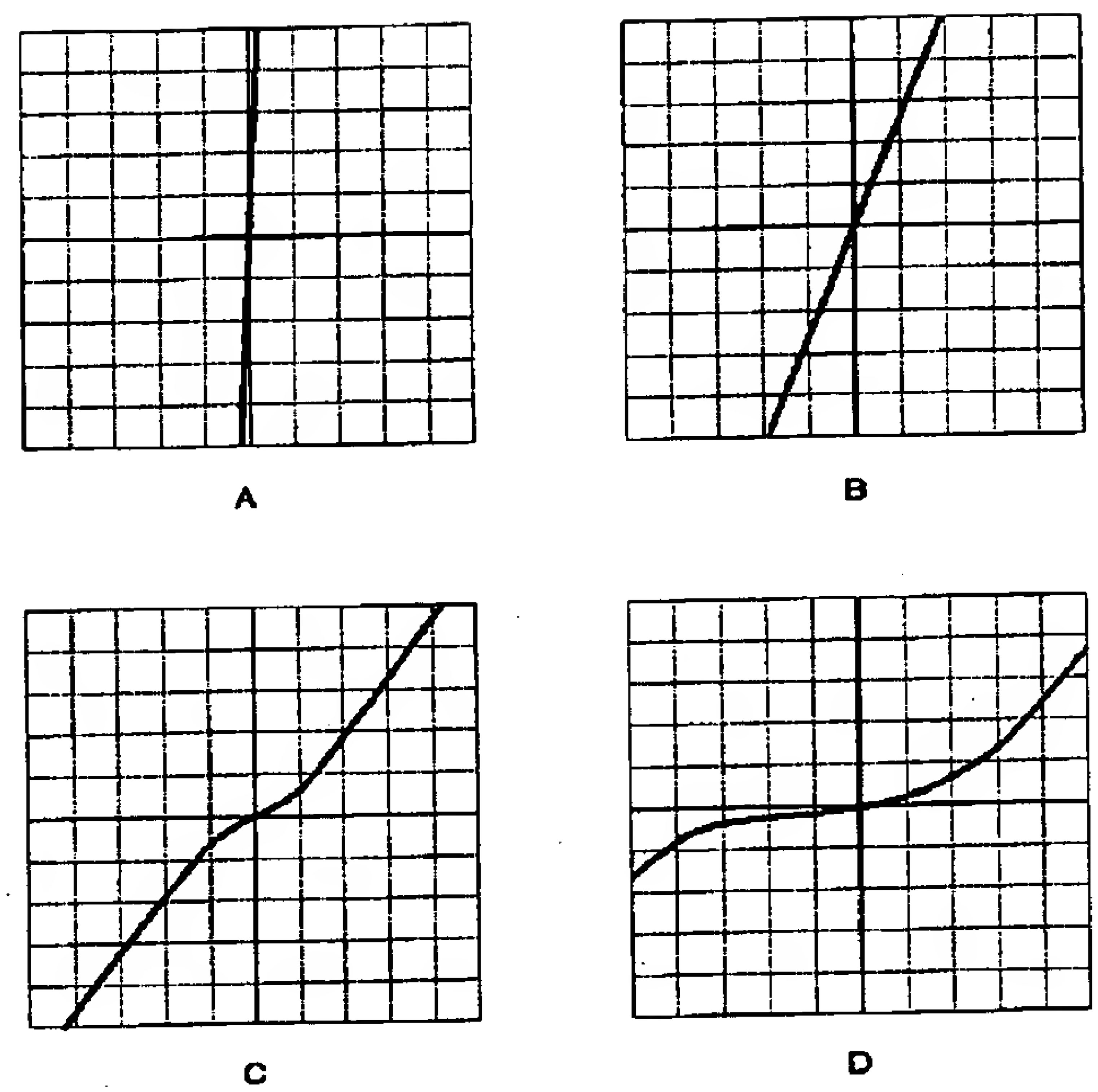
【図１】　電子キャリア濃度が異なるｎ型ＧａＮ層と電極との電流電圧特性の関係を比較して示す図。

【図２】　正孔キャリア濃度が異なるＭｇドープｐ型ＧａＮ層と電極との電流電圧特性の関係を比較して示す図。

【図３】　アニーリング温度によるｐ型ＧａＮ層と電極との電流電圧特性の関係を比較して示す図。

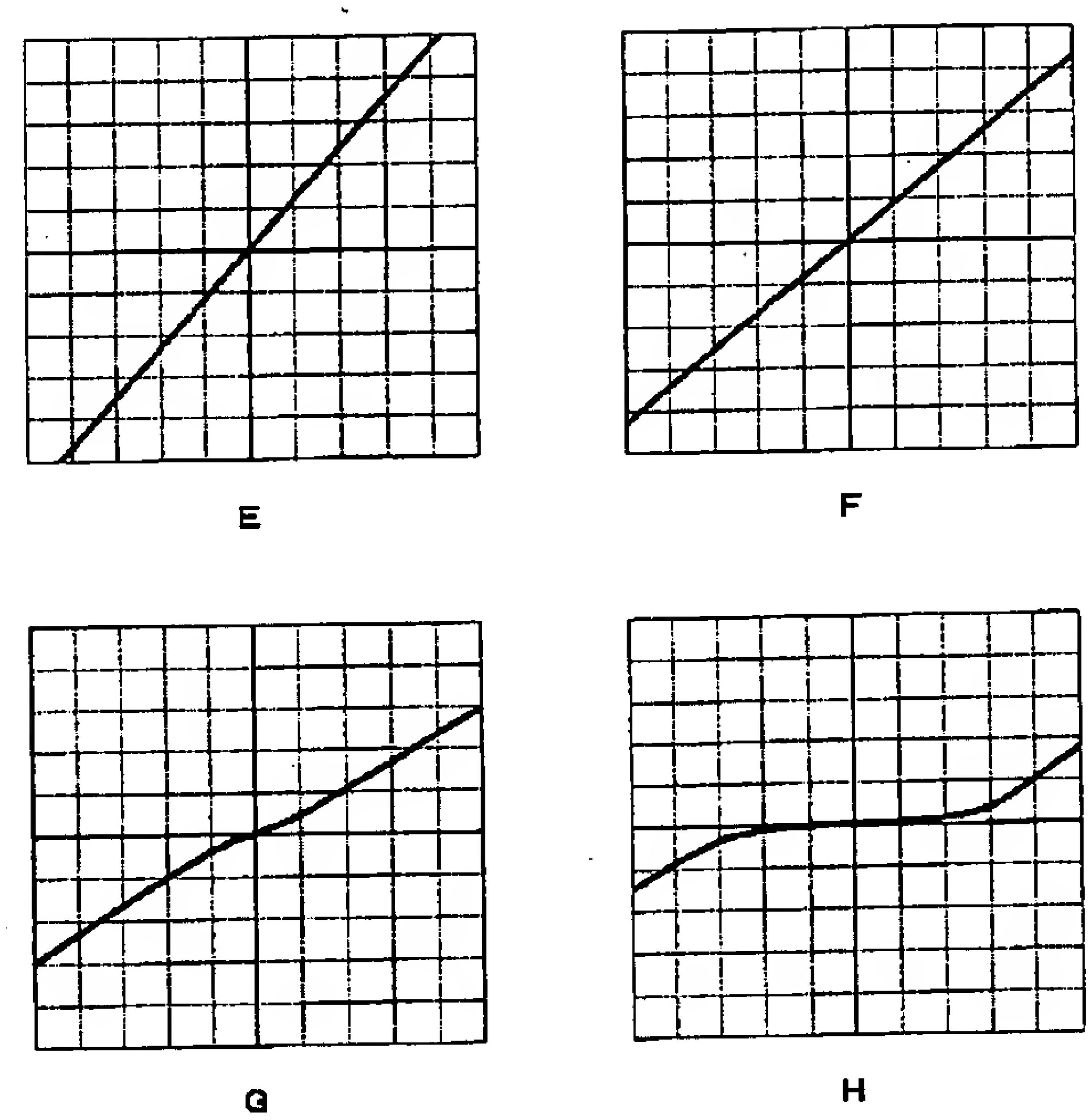
【図１】

Ｘ：０．５　Ｖ／ｄｉｖ
Ｙ：０．２ｍＡ／ｄｉｖ



【図２】

Ｘ：０．５　Ｖ／ｄｉｖ
Ｙ：０．２ｍＡ／ｄｉｖ



【図３】

Ｘ：２．０　Ｖ／ｄｉｖ
Ｙ：０．０２ｍＡ／ｄｉｖ